N° d'Enregistrement
au C.N.R.S.
AO 3295

Article principal

recouvrant en tout

LA THESE DE DOCTORAT ES SCIENCES MATHEMATIQUES

présentée

A LA FACULTE DES SCIENCES

DE PARIS

par

Suzanne DEBARBAT

pour obtenir

le grade de Docteur es Sciences

SUR L'EXTENSION DES APPLICATIONS DE L'ASTROLABE DE DANJON

Soutenue le 17 juin 1969 devant le Commission d'Examen :

M. RÖSCH J.	*Président*
MM. NAHON F.	*Examinateurs*
GUINOT B.	
LEVY J.	
VICENTE R.	

Nº d'Enregistrement
au C.N.R.S.
AO 3295

Article principal

recouvrant en tout

LA THESE DE DOCTORAT ES SCIENCES MATHEMATIQUES

présentée

A LA FACULTE DES SCIENCES

DE PARIS

par

Suzanne DEBARBAT

pour obtenir

le grade de Docteur es Sciences

SUR L'EXTENSION DES APPLICATIONS DE L'ASTROLABE DE DANJON

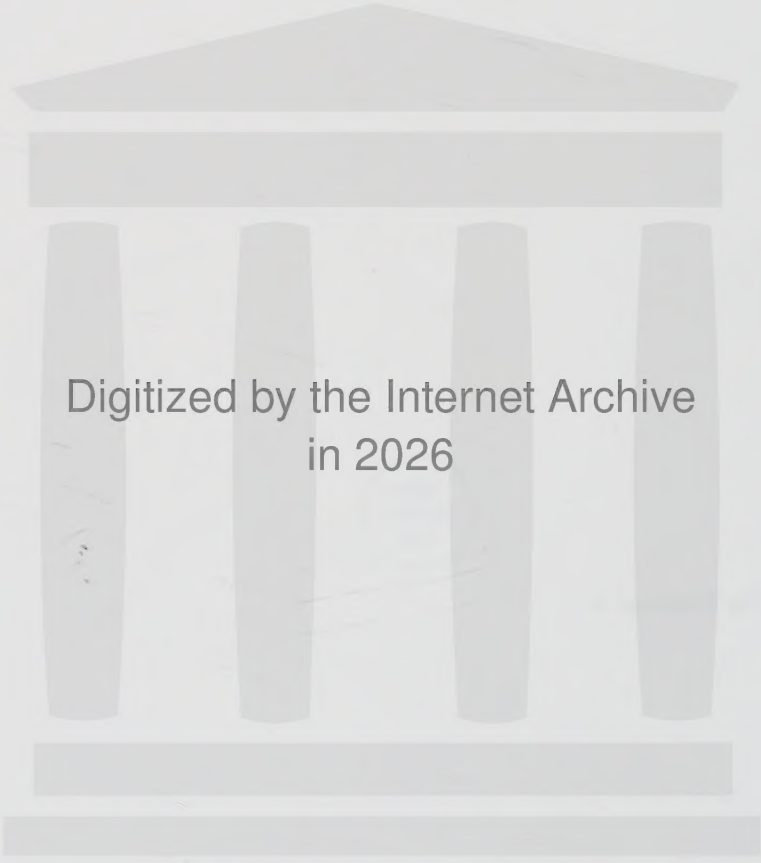
Soutenue le 17 juin 1969 devant le Commission d'Examen :

M. RÖSCH J.	*Président*
MM. NAHON F.	*Examinateurs*
GUINOT B.	
LEVY J.	
VICENTE R.	

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

En hommage à

Those who are old-fashioned
enough to work in the field
of positional astronomy.....
(D.H. Sadler, février 1968)


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523711_0021

Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 38e année, nº 5-6, 1969, pp. 205-218

SUR L'EXTENSION DES APPLICATIONS DE L'ASTROLABE DE DANJON

par Suzanne DÉBARBAT
Observatoire de Paris

Nous voudrions attirer l'attention sur quelques unes des possibilités de l'astrolabe de Danjon, mises en évidence ces dernières années. En effet, l'objectif primitif de l'astrolabe s'est trouvé considérablement élargi en raison de la précision que cet instrument a permis d'atteindre.

On ne trouvera ici ni exposé descriptif de l'astrolabe, ni méthode et formulation générales ; on pourra se reporter pour ces problèmes soit aux articles (*) cités en référence, soit à un ouvrage de B. Guinot et S. Débarbat, consacré à la méthode des hauteurs égales et qui paraîtra prochainement.

OBJET PRIMITIF DE L'ASTROLABE

« L'instrument qui fait l'objet du présent mémoire est destiné à la détermination du temps et de la latitude, par la méthode des hauteurs égales généralisée ». Ainsi se trouvait clairement défini par A. Danjon [1] l'usage de l'astrolabe à prisme, appareil dont la première réalisation, par A. Claude et L. Driencourt remontait au début du siècle.

La méthode des hauteurs égales, exposée par C. F. Gauss dès le début du XIXe siècle, a pris une place de plus en plus importante en astronomie de position, à mesure que se réalisaient des instruments propres à son emploi.

On sait qu'A. Danjon voulait éliminer certains inconvénients de l'instrument de Claude et Driencourt. Il avait obtenu, dès l'automne 1952, des résultats satisfaisants avec un astrolabe mis au point dans les Atelier et Laboratoire d'optique de l'Observatoire de Paris. Il établit alors les caractéristiques définitives de l'instrument, dont la construction commercialisée commença ; il en présenta le prototype dans une publication de 1958 [2].

La précision indiquée par A. Danjon dès 1955 (écarts-types de $0^s,009$ pour l'heure et $0'',10$ pour la latitude) marquait l'aboutissement de près d'un siècle et demi de recherches, tant théoriques que pratiques, en vue de la détermination des coordonnées locales par la méthode des hauteurs égales. Ces recherches avaient elles-mêmes leur origine dans le plus ancien des problèmes astronomiques, celui de la navigation.

Parmi les avantages de la méthode, on peut noter : la détermination simultanée des inconnues à l'aide d'un système unique d'équations de condition ; l'influence

(*) Ceux des articles cités dont la référence est suivie d'un astérisque sont des éléments de la thèse soutenue par l'auteur à la Faculté des Sciences de Paris, en juin 1969, pour l'obtention du titre de Docteur ès Sciences Mathématiques (le numéro d'enregistrement au CNRS est AO 3295). Le présent travail est l'article principal de cette thèse

réduite de la réfraction, les observations ayant lieu à une même hauteur ; la possibilité d'observer toutes les étoiles d'un catalogue fondamental (actuellement FK4), du moins avec une chaîne de quelques astrolabes répartis en latitude.

La qualité des observations à l'astrolabe tient aussi à plusieurs circonstances, par lesquelles elles se distinguent des observations méridiennes : on détermine une seule quantité, l'instant du passage ; il n'y a qu'une constante intrumentale, l'angle du prisme, et sa détermination s'effectue, au même titre que les autres inconnues (temps, latitude), par l'ensemble des observations et non par des opérations séparées. Le P.Z.T. présente d'ailleurs les mêmes particularités et a même l'avantage, au moins théorique, d'avoir zéro degré de liberté.

Dans l'état actuel des choses l'objet primitif de l'astrolabe se trouve parfaitement rempli et l'on n'en prendra pour preuve que la très forte participation des astrolabes de Danjon aux travaux du Bureau International de l'Heure et du Service International du Mouvement du Pôle.

DOMAINE D'APPLICATION

Des astrolabes de Danjon construits par les Établissements Optique et Précision de Levallois (devenu SOPELEM) ont permis d'augmenter encore la précision des déterminations.

L'amélioration des positions de certaines étoiles fondamentales [3], [4], [5], et une détermination de la constante de l'aberration [6*] ont été les premiers bénéfices de l'exploitation des résidus d'observation.

Parallèlement se développaient des travaux plus proprement liés au domaine classique de l'astrolabe, à partir des déterminations d'heure par A. Danjon [7] et de latitude par B. Guinot [8].

Ce dernier avait, dès 1958, montré comment les valeurs numériques des constantes fondamentales pourraient se déduire des résidus d'observations. Pour l'aberration, l'étude a pu être entreprise dès 1961 — alors que l'on disposait à peine de quelques années d'observations — par B. Guinot, M. Lefebvre et moi-même. Chacun des auteurs a réalisé une détermination de cette constante à partir des résidus de latitude et de temps.

On rappellera seulement ici la valeur conclue :

$$20'',511 \pm 0'',006 \text{ (erreur probable).}$$

Cette valeur figurait parmi les 12 valeurs de la constante de l'aberration retenues lors du 21e Symposium de l'Union Astronomique Internationale sur le Système des Constantes Astronomiques (Paris, 1963). La valeur adoptée à Hambourg (XIIe Assemblée Générale de l'UAI, 1964), où l'aberration a été traitée comme constante secondaire, est de $20'',4958$; elle est plus faible que la plupart des déterminations directes. Celles-ci sont peut-être affectées par d'autres phénomènes dont la détection ne pourra se faire que par des analyses étendues.

Les études qui viennent d'être évoquées sont liées à l'observation d'étoiles et d'étoiles seulement, mais il est apparu ces dernières années que l'astrolabe pouvait être utilisé de manière compétitive, par rapport à l'instrument méridien, dans les observations de planètes.

D'autre part, en raison de leur qualité, on peut envisager l'emploi des résidus d'observation à des problèmes indirects, plus ou moins liés à la structure de la Terre ou à des mouvements « fins » de son axe de rotation.

Parmi les astres qu'un instrument astronomique permet d'observer, certains, compte tenu du grossissement utilisé, se présentent sous un aspect stellaire, tandis que d'autres ont un diamètre apparent sensible.

Dans le cas de l'astrolabe, à la première catégorie se rattachent Uranus, des petites planètes, certains satellites naturels. Pour d'autres objets, comme Mars, Jupiter, Saturne, le diamètre représente une petite fraction du champ de l'instrument et l'image peut être affectée par la phase : la technique d'observation n'est pas la même que dans le cas des étoiles.

Nous avons donc examiné plusieurs modes d'observation et étudié la dispersion des résidus ; ils ont été comparés à ceux obtenus à l'instrument méridien de Washington ; il a fallu d'autre part traiter le problème de la phase pour les observations à l'astrolabe.

La première campagne du genre a été entreprise à l'Observatoire de Paris en 1961 [9*] : 9 passages de Mars ont été observés. La qualité des résultats nous a fait envisager de faire entreprendre des campagnes systématiques d'observation de planètes à l'astrolabe.

Les observations étudiées sont celles qui ont été effectuées pour nous dans divers observatoires (Besançon, Paris, Quito, Sao Paulo) et également celles que l'Observatoire d'Alger avait entreprises et publiées (Annales de l'Observatoire d'Alger de 1965 et 1966).

Technique d'observation.

Dans le cas de l'astrolabe, deux images se présentent dans le champ de l'instrument. L'une est une image directe qui se comporte comme la planète, l'autre est une image réfléchie par le bain de mercure, symétrique de la première par rapport à un plan horizontal. Les deux images sont maintenues côte à côte au cours de l'observation. Il a fallu définir une façon d'observer dans le cas des images non stellaires et notamment de Mars.

Deux modes ont été primitivement envisagés [10*] : à Besançon, les images étaient placées à égale distance des fils intérieurs du réticule ; à Paris, elles étaient maintenues tangentes au fil inférieur central.

Bien que la qualité du groupe de raccordement ait été sensiblement la même dans ces deux observatoires, il est apparu de grandes différences des erreurs quadratiques moyennes en ascension droite ($0^s,008$ à Besançon, $0^s,016$ à Paris) et en déclinaison ($0'',05$ à Besançon, $0'',12$ à Paris).

L'origine de ces différences pouvait tenir au mode d'observation ; il a été décidé que la méthode utilisée à Besançon serait retenue pour les campagnes suivantes.

Il est apparu depuis que la précision demeurait de l'ordre de celle des observations d'étoiles. S'il n'en était plus ainsi, les études relatives au mode d'observation devraient être reprises.

Notons qu'à Alger, en 1963, on superposait les deux images, mais la valeur du procédé n'a pu être nettement appréciée ; les observations ne comportant que des passages Ouest, l'analyse ne permet pas une détermination simultanée des deux coordonnées.

Dispersion des résidus.

Pour les observations de Mars de 1961, l'écart quadratique moyen en distance zénithale après l'observation de 9 passages seulement s'établissait à 0″,18, valeur à rapprocher de celle relative aux étoiles [11] et qui est de 0″,17.

Dès leur publication, on pouvait dire que les erreurs fortuites d'observation d'une planète — il s'agissait alors de Mars — n'étaient pas supérieures à celles d'une étoile.

Des observations systématiques de Mars effectuées à Besançon et Paris en 1963 ont confirmé la qualité des résultats. Pour les 19 doubles passages obtenus, l'erreur quadratique moyenne s'établissait à $0^s,007$ pour les résidus en ascension droite et à 0″,05 pour ceux en déclinaison. Les valeurs extraites de [12] donneraient, dans le cas des étoiles, respectivement $0^s,009$ et 0″,03.

Les résultats sont analogues pour Jupiter (observations de 1964, 1965-66). Ils ont été présentés à Praque (UAI, Assemblée Générale de 1967, Commission 8) parmi d'autres observations de planètes et conduisent au graphique de la figure 1.

En ce qui concerne Uranus, nous avons examiné [13*] les observations d'Alger et de Quito. Il apparaît qu'elles présentent des anomalies que la trop courte durée des observations ne nous a pas permis d'élucider.

Signalons aussi que c'est l'Observatoire d'Alger qui a effectué les premières observations de Vesta à l'astrolabe de Danjon ; la cohérence des cinq doubles passages obtenus est bonne.

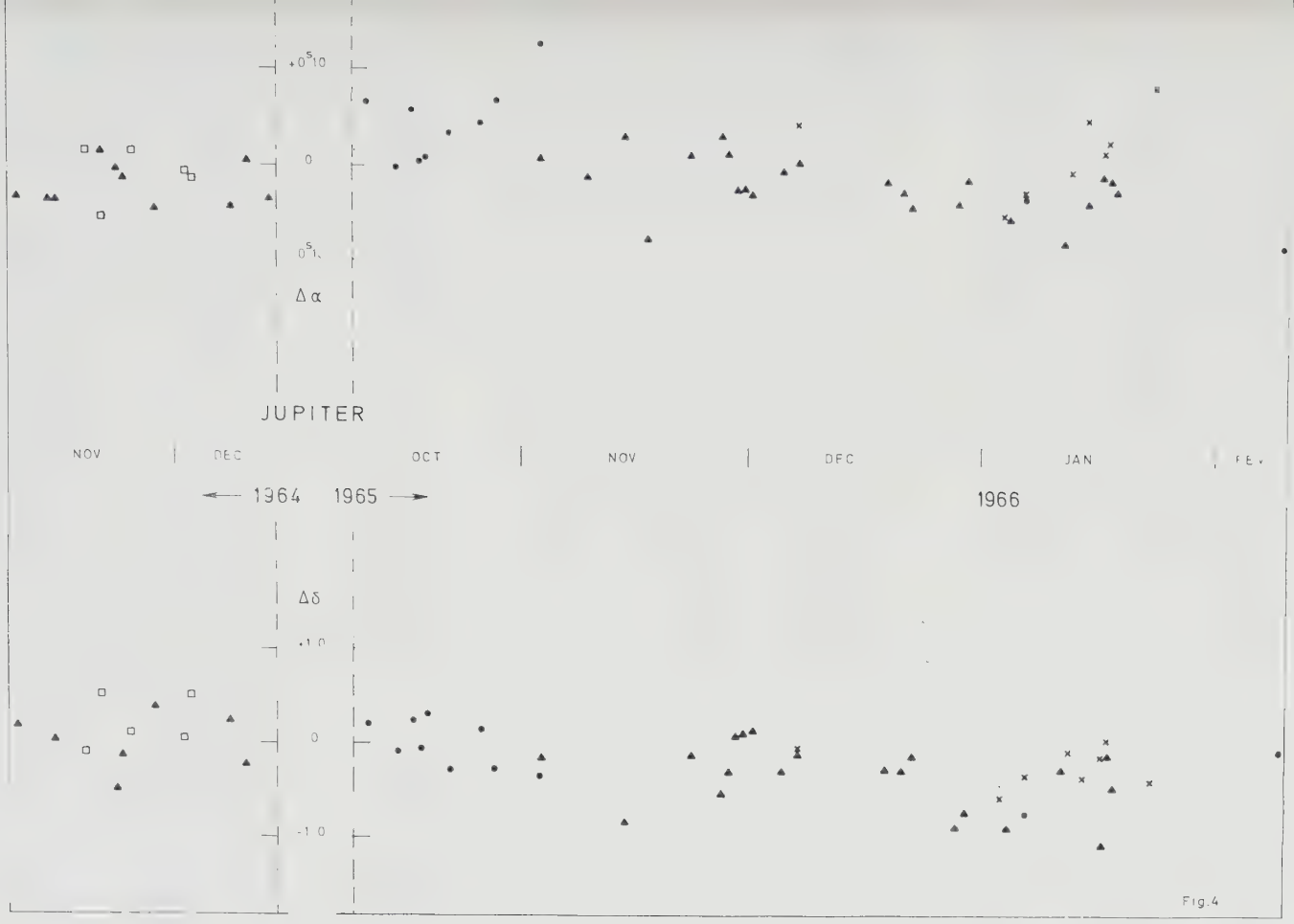
Comparaison avec des observations méridiennes.

Les observations, réduites avec les données de l'American Ephemeris, ont été comparées avec des observations méridiennes (principalement celles de Washington), et, pour ce qui est de Mars, avec les éphémérides provisoires calculées par R. L. Duncombe d'après la nouvelle théorie de G. M. Clemence.

Pour Mars, les résultats sont en bon accord avec Washington [9*]. Relativement aux éphémérides de R. L. Duncombe, il y a bon accord en ascension droite ; en déclinaison, apparaît une petite divergence, qui, commune aux résidus astrolabe et méridien, est vraisemblablement imputable à la théorie de la planète.

Pour Jupiter, la figure 1 semble indiquer qu'il subsiste, par rapport à l'American Ephemeris, de petites oscillations que la campagne 1966-67 permettra peut-être de préciser.

En ce qui concerne Uranus, nous avons constaté des anomalies en comparant [13*] les observations aux astrolabes d'Alger et de Quito avec les observations méridiennes de Washington. L'aspect quasi-stellaire laissait pourtant espérer de bons résultats pour cette planète. Il n'en est rien et les divergences dépassent la dispersion des résultats. En ascension droite, si le résidu moyen calculé sur un mois environ conduit à $\Delta\alpha = -0^s,044$ à Washington et $\Delta\alpha = -0^s,046$ à Quito, on trouve pour Alger $+ 0^s,101$ alors que la dispersion des résidus ne dépasse certainement pas $0^s,020$. En déclinaison, seuls pouvaient être comparés les résidus d'Alger et de Washington : les valeurs sont — 1″,21 et — 0″,29 alors que la dispersion n'atteint pas 0″,20. Ces anomalies pourront être étudiées lorsque nous disposerons de plusieurs années d'observations ; déjà, d'ici peu nous aurons les résultats d'une nouvelle campagne d'observations entreprise à Sao Paulo.



• PARIS ▫ QUITO
× BESANÇON ▲ WASHINGTON

Fig. 1

Problème de phase.

Pour une planète comme Uranus, la phase est tout à fait négligeable eu égard à la précision des observations. Pour Mars et Jupiter, la correction peut atteindre quelques centièmes de seconde de degré.

En fait, l'observateur ne perçoit pas cette phase et il a l'impression d'aligner deux images circulaires. On peut donc supposer qu'il aligne les bords des images ou encore, qu'il aligne les photocentres. Nous avons déterminé les corrections de phase dans ces deux cas [14*], mais nous n'avons tenu aucun compte de l'assombrissement des bords.

L'écart entre les deux corrections est faible ; ainsi, pour Jupiter, il ne dépasse pas 0″,03. Néanmoins, comme il est systématique, il faut pouvoir établir celle des deux hypothèses qui est la plus justifiée ; un grand nombre d'observations sera nécessaire pour cette étude.

Organisation des observations.

Les observations de planètes se font en même temps que celles des groupes fondamentaux des programmes d'astrolabe, l'observation du passage étant rapportée au groupe d'étoiles au cours duquel il se produit. On perd une étoile, parfois deux, mais par suite du mouvement de la planète les étoiles perdues changent au bout de quelques jours.

Mais les conditions de travail de l'instrument (pour les cas usuels où le pôle est extérieur à l'almucantarat, les déclinaisons accessibles sont comprises entre $\varphi - z$ et $\varphi + z$, φ étant la latitude et z la distance zénithale d'observation) ne permettent pas à tous les observatoires équipés d'astrolabes de poursuivre des campagnes de planètes.

Par ailleurs, la précision que l'on peut espérer obtenir dépend, pour une déclinaison donnée, de la latitude du lieu d'observation. Elle diffère pour l'une ou l'autre des coordonnées équatoriales de l'astre [12]. Les graphique de la figure 2 permettent de connaître les conditions d'observations, pour différentes planètes, selon la latitude.

Compléments.

Nous publierons prochainement les résultats des campagnes d'observations de Jupiter : à celles mentionnées plus haut s'ajoutera celle de 1966-67 (Besançon et Paris) qui apportera une trentaine de doubles passages.

Légende de la figure 2

Précision sur la mesure des ascensions droites et des déclinaisons à l'astrolabe

Les diagrammes donnent les courbes d'égale précision dans un système de coordonnées « époque-latitude de l'observatoire », pour un astre supposé décrire l'écliptique d'un mouvement uniforme. A chaque planète correspond une échelle de temps en abscisse, qui permet de définir le point représentatif des conditions de l'observation et d'apprécier la précision.

L'observation n'est possible que si le point est entre les courbes limites : en ascension droite, elles définissent une bande centrale et en déclinaison, deux bandes comprises entre le maximum de précision et la limite d'indétermination la plus voisine. Il faut aussi qu'il fasse nuit, ce qu'on pourra apprécier par l'échelle « Soleil + 12 h » : sa graduation (en douzièmes d'année) indique l'époque où le point de l'écliptique dont l'ascension droite est celle de l'astre, passe au méridien à minuit.

Les graphiques étant approchés, il est bon, lorsqu'on se trouve au voisinage des limites d'observation de s'assurer de la valeur exacte de la déclinaison de la planète.

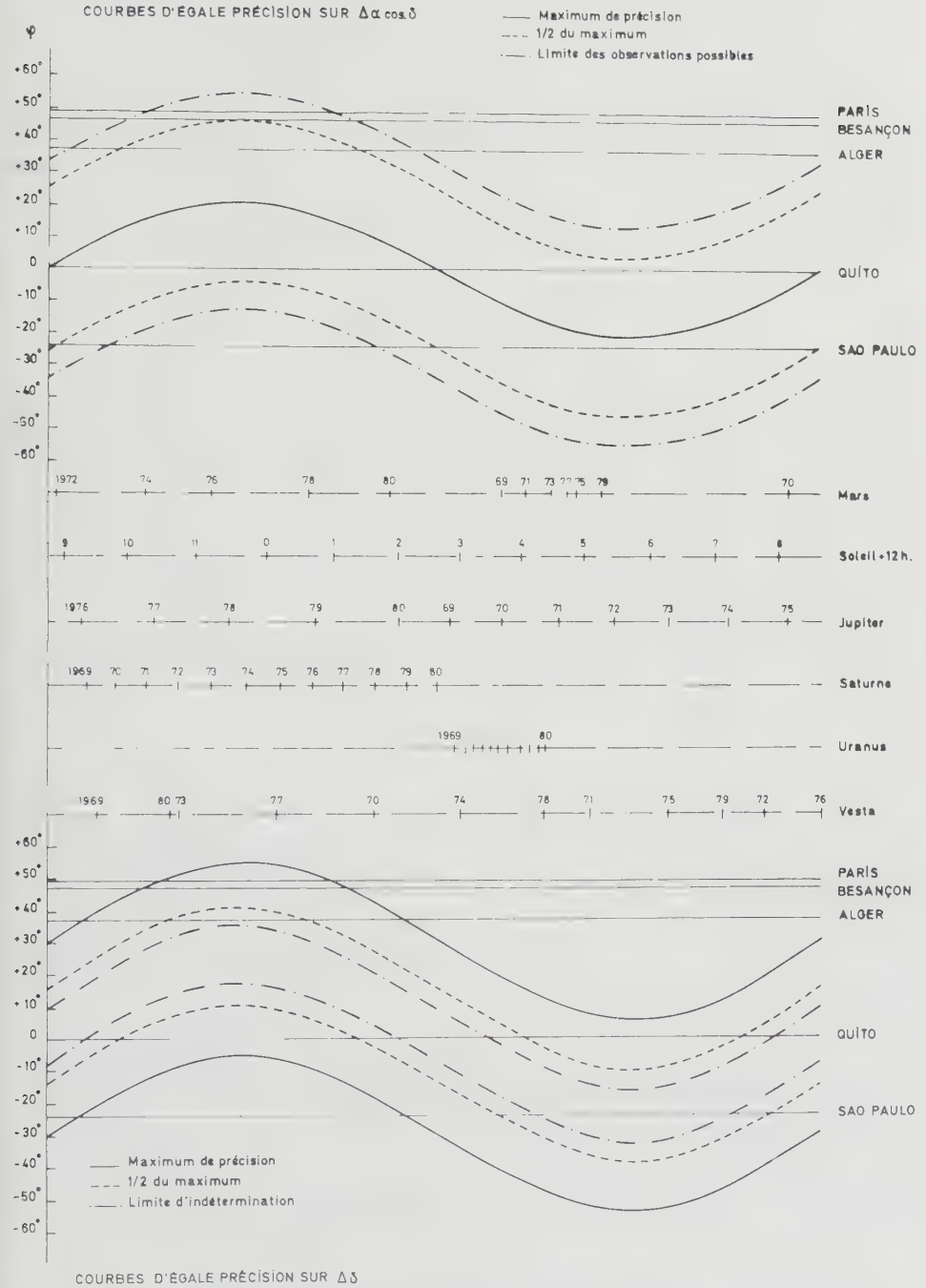

COURBES D'ÉGALE PRÉCISION SUR Δα cos δ
Maximum de précision
1/2 du maximum
Limite des observations possibles
φ
+60°
+50°
+40°
+30°
+20°
+10°
0
-10°
-20°
-30°
-40°
-50°
-60°
PARIS
BESANÇON
ALGER
QUITO
SAO PAULO
1972 74 76 78 80 69 71 73 75 78 70
Mars
9 10 11 0 1 2 3 4 5 6 7 8
Soleil +12 h.
1976 77 78 79 80 69 70 71 72 73 74 75
Jupiter
1969 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
Saturne
1969 80
Uranus
1969 80 73 77 70 74 78 71 75 79 72 76
Vesta
+60°
+50°
+40°
+30°
+20°
+10°
0
-10°
-20°
-30°
-40°
-50°
-60°
PARIS
BESANÇON
ALGER
QUITO
SAO PAULO
Maximum de précision
1/2 du maximum
Limite d'indétermination
COURBES D'ÉGALE PRÉCISION SUR Δδ

Fig. 2

Il reste actuellement à réduire des observations de Saturne et de certains satellites de Jupiter. Ces observations ont été notamment effectuées à l'Observatoire de Quito dont la situation en latitude est très favorable.

Il serait particulièrement instructif de réaliser l'expérience qui consiste à observer les planètes simultanément à l'instrument méridien et à l'astrolabe.

Nous citerons enfin pour mémoire quelques essais qui, pour le moment, n'ont pas abouti : l'observation d'un satellite artificiel (la traversée du champ était plus rapide que les réflexes de l'observateur) ; la tentative, lors d'un séjour à l'Observatoire de Nice, d'observations de galaxies, parmi celles visibles à l'œil nu (il conviendrait de la renouveler, car ces observations permettraient de rattacher les étoiles à quelques galaxies).

LA TERRE SYSTÈME DÉFORMABLE

Nous avons tenté d'utiliser l'astrolabe en vue de la détermination de Λ, combinaison des nombres de Love k et l à partir des déviations de la verticale (rappelons que les nombres de Love sont des coefficients caractérisant les marées terrestres, lesquelles influent sur la verticale avec le coefficient $\Lambda = 1 + k - l$). Nous l'avons aussi utilisé en vue de la mise en évidence d'un terme de nutation presque diurne.

De telles recherches ont été antérieurement effectuées — du point de vue astronomique — à l'aide d'instruments tels que les lunettes zénithales et les P.Z.T. ; dans un proche avenir, d'ailleurs, les mesures de distance Terre-Lune par Laser avec cataphote sur la Lune contribueront à éclaircir ces problèmes.

On n'entrera pas dans le détail de ces études qui ont été publiées [15*], [16*] (*) ; le but est ici d'en dégager les résultats. Quant à l'aspect théorique de ces problèmes, on pourra se reporter notamment aux travaux de P. Melchior [17], Ye. Fedorov [18], R. O. Vicente - G. Jobert [19].

Termes lunaires.

Les fluctuations de la verticale liées aux marées terrestres sont accessibles — théoriquement du moins — à un instrument comme l'astrolabe, mais ce sont des phénomènes pratiquement du même ordre de grandeur que les erreurs des déterminations d'heure et de latitude.

Pour ce qui est de leur amplitude, nous avons trouvé des valeurs acceptables pour les termes diurne et semi-diurne en temps ; mais en latitude, le terme diurne est très éloigné de l'amplitude théorique, alors que le terme semi-diurne se place dans des limites convenables.

L'objet de l'étude étant la détermination de Λ, les termes semi-diurnes ont seuls été pris en compte ; mais l'anomalie du terme diurne, qui pourrait tenir à l'emploi d'un terme polaire annuel insuffisamment précis, demanderait à être analysée si elle se représentait dans l'avenir.

Nous avons regroupé sur la figure 3 les valeurs de Λ extraites de [17], celles présentées par C. Sugawa au V^e Symposium International sur les Marées Terrestres (1964) et enfin, les six valeurs que nous avons obtenues.

(*) Dans cet article, figure 7, il convient évidemment d'intervertir, pour le programme Annexe II, les légendes de représentation des deux courbes.

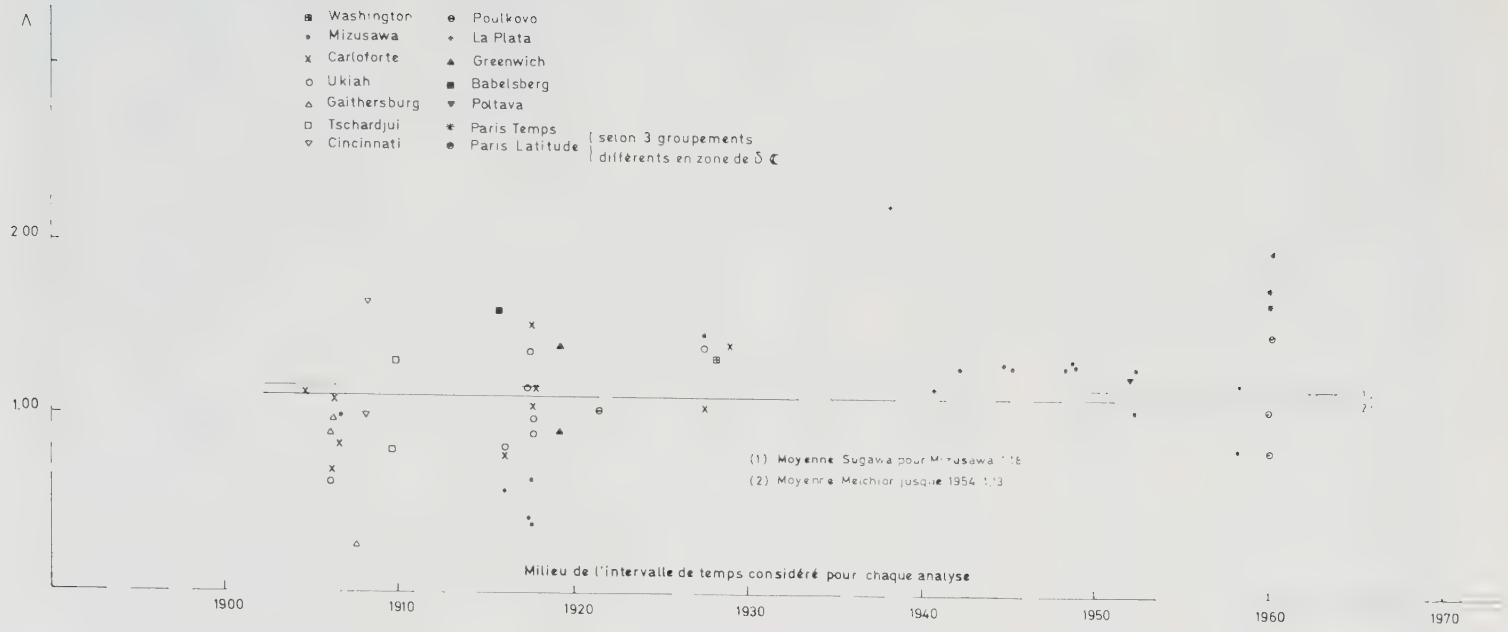

Washington
Mizusawa
Carloforte
Ukiah
Gaithersburg
Tschardjui
Cincinnati
Poulkovo
La Plata
Greenwich
Babelsberg
Poltava
Paris Temps
Paris Latitude
selon 3 groupements différents en zone de δ ℂ
Λ
2.00
1.00
(1) Moyenne Sugawa pour Mizusawa
(2) Moyenne Melchior jusque 1954
Milieu de l'intervalle de temps considéré pour chaque analyse
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970

Fig. 3

On constate que nos valeurs, qui sont plus élevées en temps qu'en latitude, ont une dispersion plus forte que ce qu'on déduirait de leur erreur probable (0,2), mais du même ordre de grandeur que celle des déterminations antérieures ; on note aussi que nous ne disposions que d'environ six années d'observations.

Sur la figure 4, nous avons reporté les valeurs de Λ en fonction de la durée soumise à l'analyse. A mesure que s'allonge cette durée des observations exploitées, une décroissance de Λ semble apparaître : cela pourrait tenir à ce que des oscillations à courte période s'éliminent progressivement.

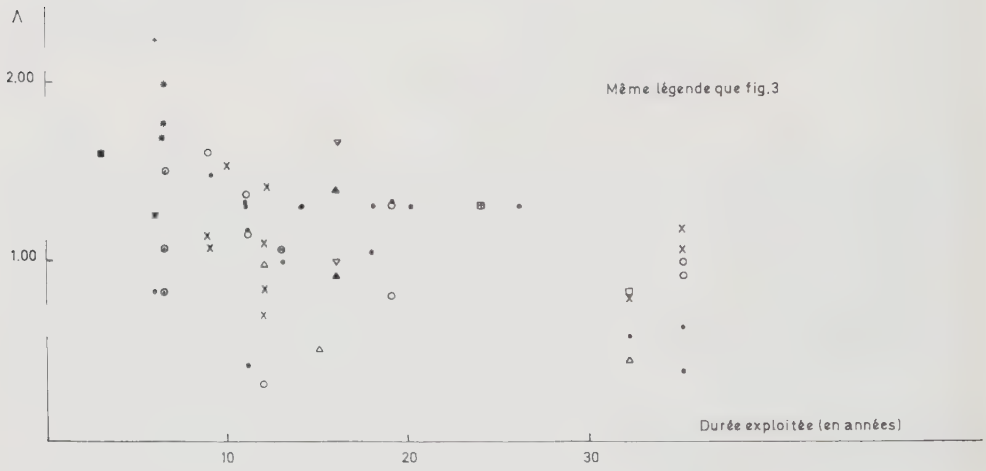


Fig. 4

Nutation presque diurne.

Il s'agit là d'un autre phénomène, mentionné dans des études théoriques, et qui est lié au déplacement de l'axe de rotation de la Terre, en relation avec la structure terrestre. Sa période estimée est un peu inférieure à un jour sidéral ; il se traduit sur les déterminations quotidiennes (intervalle : un jour moyen), telles que celles provenant des observations au P.Z.T. et à l'astrolabe, par un terme dont la période est de l'ordre de 200 jours.

Cette nutation presque diurne, traitée théoriquement par M. S. Molodenskij dès 1961, a fait l'objet de divers travaux de la part des astronomes de l'école soviétique (Ye. Fedorov, N. Pariiskij, ...). Ce terme devait être mis en évidence par N. Popov dès 1963 ; il opérait sur des étoiles zénithales. Peu après, en 1964, D. V. Thomas le détectait dans les observations effectuées au P.Z.T.

La détection expérimentale est difficile : dès 1964, Sir H. Jeffreys et R. O. Vicente attiraient l'attention sur les difficultés d'une telle recherche : « The considerations ... show the complexity of the diurnal nutation ... The possibility of observing this nutation requires the utmost care in the method adopted and the selection of the stars. The reduction of observation also needs close scrutiny ».

Plus récemment, en 1968, R. O. Vicente a fait une étude critique des diverses méthodes possibles pour la recherche des termes périodiques dans les observations, et notamment cette nutation : il pense que le P.Z.T. est préférable à l'astrolabe.

Néanmoins, la recherche entreprise a été poursuivie : l'astrolabe décèle un terme de nutation presque diurne avec la même précision que le P.Z.T., résultat dû, sans doute, au fait que les étoiles observées à l'astrolabe appartiennent à un catalogue fondamental.

L'amplitude du terme de période 204 jours est ainsi :

	Latitude	Temps
Astrolabe (Débarbat)	$0''{,}008 \pm 0''{,}003$	$0''{,}006 \pm 0''{,}005$
P.Z.T. (Thomas)	$0''{,}006 \pm 0''{,}003$	$0''{,}008 \pm 0''{,}005$
(*)	$0''{,}010 \pm 0''{,}003$	

Les résultats sont donc strictement équivalents, ils diffèrent un peu de ceux de N. Popov, donnés en 1963 pour la latitude, $0''{,}016 \pm 0''{,}003$. D'autre part la période a été expérimentalement précisée au cours de l'analyse exposée ci-dessous.

Termes périodiques des coordonnées locales.

Le même matériel a été soumis à une analyse plus générale par différents procédés (analyse harmonique, transformée de Fourier, intégration numérique des coefficients de Fourier). La confrontation des résultats paraît bien le seul moyen d'éliminer les périodes illusoires.

Un procédé simpliste mais commode consiste à faire la somme des amplitudes normalisées obtenues par les trois méthodes. Ces amplitudes ont été relevées pour des périodes équidistantes de 2.5 jours ; les résultats, en temps et en latitude, apparaissent sur la figure 5.

Les périodes les plus significatives se trouvent : en latitude, au voisinage de la demi-année tropique, de 205-210, 250-260 jours, en temps, de 105, 115 et 135 jours et au voisinage de 200 jours. On notera également une raie vers 170 jours présente dans les deux analyses, bien que plus nettement dans les résultats en temps.

Ainsi la nutation presque diurne n'apparaît pas exactement à 204 jours ; en revanche certaines périodes nettes sont détectées. Les modèles de Terre peuvent conduire à différentes nutations presque diurnes, qui se traduiront ici par des termes périodiques de la bande 100-365 jours. Ces termes doivent être effectivement présents dans l'analyse expérimentale pour que le modèle de Terre soit valable. Mais les périodes expérimentales ne sont pas nécessairement liées à des mouvements du pôle, elles peuvent tenir aussi à des mouvements de la verticale.

L'ASTROLABE ET L'ASTRONOMIE FONDAMENTALE

L'astrolabe O.P.L. a maintenant près de treize années d'existence. Dès l'origine (ou du moins après un an d'observations), B. Guinot avait montré quelle contribution l'instrument pouvait apporter à la détermination des constantes astronomiques ; l'étude de la constante de l'aberration a pu être rapidement menée. Il a également, après quatre ans d'observations pu établir un catalogue d'étoiles dont la précision est de l'ordre de celle des catalogues fondamentaux.

Les études que nous avons présentées (planètes, pôle, verticale) concernent des recherches basées sur du matériel recueilli ces dernières années. L'astrolabe fournit ainsi des contributions positives aux sujets les plus actuels de l'astronomie fondamentale.

(*) D. V. Thomas a effectué deux analyses en latitude.

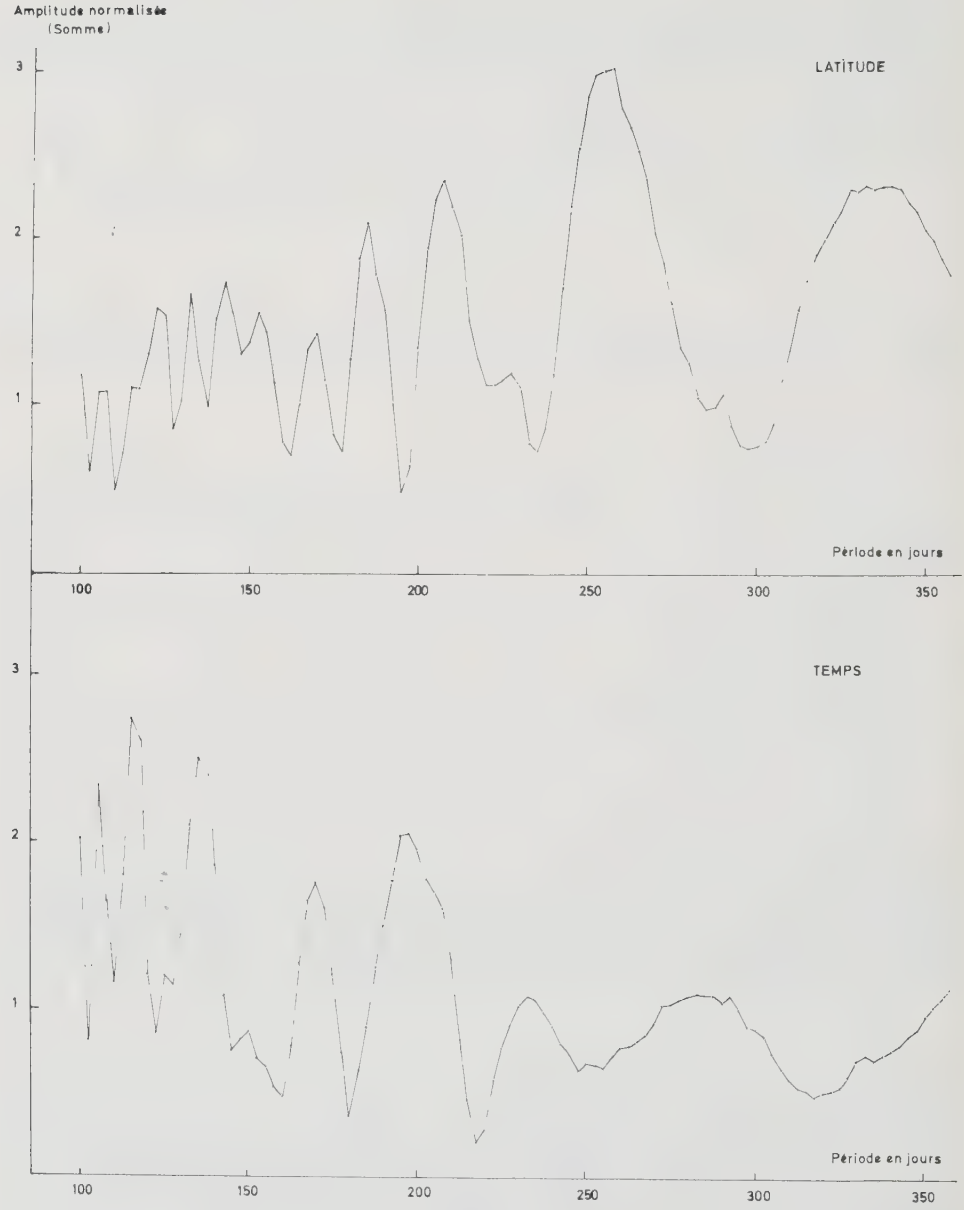


Fig. 5

On note en particulier que la mécanique céleste est maintenant en mesure de tirer parti des résidus à courte période pouvant apparaître dans les observations. Quant à la nutation polaire et la verticale, les recherches s'inscrivent dans le cadre du texte présenté par le Comité National Belge d'Astronomie : « Étant donné certains résultats obtenus dans le domaine des marées terrestres l'Union Astronomique

Internationale recommande que les études des nutations à courte période soient poursuivies et développées » (Résolution adoptée à la XIII[e] Assemblée Générale de l'UAI, Prague 1967).

D'ordinaire, en astronomie de position, les progrès s'effectuent à une lente échelle ; les innovations techniques ne portent leurs fruits qu'au bout de longues années ; d'ailleurs le matériel expérimental s'exploite pendant des décennies, voire un siècle. Le tableau des résultats obtenus depuis l'introduction de l'astrolabe de Danjon est donc assez remarquable.

Terminons par un vœu. Les astrolabes en activité pourraient peut-être, par de légères modifications de leurs programmes, améliorer le rendement des recherches dont nous venons de parler. Nous serions notamment très reconnaissants aux astronomes qui voudraient bien se joindre à ceux qui ont déjà accepté de participer à des campagnes d'observations de planètes ou de leurs satellites : la mécanique céleste souffre des lacunes existant dans ce domaine, et l'astrolabe pourrait aider à les combler.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Danjon, A., L'astrolabe impersonnel de l'Observatoire de Paris. *Bull. Astr.*, **15**, 251, 1955.

[2] Danjon, A., L'astrolabe impersonnel modèle O.P.L. *Bull. astr.*, **21**, 323, 1958.

[3] Guinot, B., Détermination des erreurs systématiques des ascensions droites en fonction de la déclinaison dans les catalogues d'étoiles FK3 et N30. *Bull. astr.*, **20**, 19, 1956.

[4] Guinot, B., Débarbat, S. et Krieger-Fiel, J., Catalogue des positions de 571 étoiles du FK3 et FK3 sup. *Bull. astr.*, **23**, 307, 1961.

[5] Guinot, B., Comparaisons du catalogue d'étoiles de l'astrolabe de Paris et d'autres catalogues. *Bull. astr.*, **23**, 343, 1961.

[6*] Guinot, B., Débarbat, S. et Lefebvre, M., La constante de l'aberration déduite des mesures de latitude et de temps faites à l'Observatoire de Paris avec l'astrolabe impersonnel A. Danjon. *Bull. astr.*, **23**, 295, 1961.

[7] Danjon, A., *C. r. Acad. Sci.*, Paris, **245**, 2061, 1958 ; **250**, 1399, 1960 ; **252**, 2039, 2343, 2779, 1961 ; **254**, 2479, 3058, 1962.

Danjon, A., Résultats déduits des observations à l'astrolabe O.P.L. de Paris et du P.Z.T. de Neuchâtel (juillet 1956 - mars 1960). *Notes Inf. Publ. Obs. Paris*, Fasc. VIII, Astrométrie n° 7, 1962.

[8] Guinot, B., *C. r. Acad. Sci.*, Paris, **245**, 1887, 1957 ; **249**, 39, 1959 ; (avec Débarbat, S.), **250**, 2124, 1960 ; **257**, 3301, 1963.

Guinot, B., La variation de la latitude à Paris. Résultats et analyse des observations. *Bull. astr.*, **24**, 461, 1965.

[9*] Débarbat, S. et Kovalevsky, J., Discussion des observations de Mars faites à l'astrolabe impersonnel A. Danjon. *Bull. astr.*, **24**, 69, 1963.

[10*] Débarbat, S., Discussion des observations de Mars effectuées en 1963 à l'astrolabe A. Danjon. *Bull. astr.*, sér. 3, **1**, 279, 1966.

[11] Guinot, B., L'astrolabe impersonnel A. Danjon, Modèle O.P.L. de l'Observatoire de Paris. Étude des résultats d'une année d'observations. Variation de la latitude. Catalogue d'étoiles, Thèse, Paris, Gauthier-Villars, 1958.

[12] Guinot, B., La révision des catalogues d'étoiles à l'aide d'astrolabes. *Bull. astr.*, **23**, 91, 1959.

[13*] Débarbat, S., Discussion des observations d'Uranus effectuées en 1964 aux astrolabes A. Danjon d'Alger et de Quito. *Bull. astr.*, sér. 3, **3**, 415, 1968.

[14*] Débarbat, S., Corrections à apporter aux observations effectuées à l'astrolabe en raison de la phase et de l'aplatissement des planètes. *Bull. astr.*, sér. **3**, **2**, 569, 1967.

[15*] Débarbat, S., Recherche des effets lunaires sur la verticale déduite des observations faites à l'astrolabe. *Bull. astr.*, sér. 3, **2**, 541, 1967.

[16*] Débarbat, S., Nutation presque diurne et termes périodiques des coordonnées locales. *Astron. and Astrophys.*, **1**, 334, 1969.

[17] Melchior, P., *The Earth Tides*, Pergamon Press, 1966.

[18] Fedorov, Ye.-P., Translated by Jeffreys, B. S., *Nutation and forced motion of the Earth's pole*, Pergamon Press, 1963.

[19] Vicente, R. O. et Jobert, G., Leçons sur les théories du noyau fluide, Cinquième Symposium International sur les Marées Terrestres, Bruxelles, 1-6 juin 1964. *Commun. Obs. r. Belgique*, n° 236, sér. *Géophysique*, n° 69, p. 40 (Vicente), p. 64 (Jobert), 1964.

Remerciements.

Au cours de ces recherches, qui ont été menées ces dernières années à l'Observatoire de Paris, nombreux sont ceux qui m'ont aidée ou encouragée. Il est impossible de les énumérer ici, mais chacun reconnaîtra sa contribution ou l'emploi qui a été fait de ses suggestions.

Ce travail a nécessité une importante aide matérielle. Les observateurs qui ont bien voulu étendre leurs programmes en y insérant les observations de planètes méritent une particulière gratitude. Le rôle des techniciens pour les calculs et l'exploitation n'est pas moins grand. La valeur des observateurs et des techniciens est un élément essentiel pour une entreprise de ce genre.